

En quoi les satellites changent-ils notre vie quotidienne ?

Tous les mois dans *Le Figaro*, des membres de l'Académie des sciences répondent aux grandes questions de l'actualité scientifique.



ANNY CAZENAVE
géophysicienne,
membre
de l'Académie
des sciences

L'ESPACE à pris, en quelques décennies, une importance considérable dans nos sociétés modernes, sans que nos concitoyens en aient toujours pleinement conscience. L'observation de la Terre, à partir de satellites dédiés, permet notamment de suivre les changements globaux auxquels notre planète est soumise sous l'effet des phénomènes naturels et de la pression anthropique, et éventuellement d'anticiper certains de leurs impacts sur les sociétés humaines.

Mais les milliers de satellites qui tournent au-dessus de nos têtes jouent également un rôle important dans notre vie quotidienne. Chaque jour, la télévision nous montre des images de l'atmosphère terrestre prises par des satellites météorologiques : ces images, ainsi que nombre d'autres mesures réalisées depuis l'espace et le sol, alimentent des modèles grâce auxquels les météorologues nous prédisent le temps qu'il fera.

Autre grande application : les télécommunications. Des centaines de satellites placés sur l'orbite géostationnaire* sont des relais fixes autour du globe permettant tous les échanges d'informations : la téléphonie « satellite », indispensable lorsqu'on se déplace dans des régions reculées, la réception directe de centaines de chaînes de télévision ou encore la transmission de données en temps réel entre les places boursières, les réseaux bancaires et les grandes entreprises de notre économie mondialisée. Des populations isolées peuvent aussi bénéficier d'enseignement à distance ou recevoir de précieux conseils médicaux grâce au développement de la télé-médecine.

Les surfaces continentales sont observées en routine par de très nombreux satellites « imageurs ». En quarante ans, la résolution des images est passée de 80 mètres à 50 centimètres ! Les applications sont innombrables. Outre la défense du territoire et le renseignement, on peut citer la cartographie, le suivi de la déforestation, des changements d'occupation des sols et des cultures agricoles. L'imagerie spatiale joue un rôle grandissant dans le suivi et la gestion en temps réel des désastres majeurs (cyclones, inondations, séismes, incendies, déversements d'hydrocarbures, etc.).

À l'initiative de la France et de l'Agence spatiale européenne (ESA), une coopération internationale, appelée Charte internationale espace et catastrophes majeures, s'est établie au début des années 2000 entre plusieurs agences spa-

tiales pour mettre à la disposition des organismes de sécurité civile et des Nations unies des images « satellite » afin de faciliter l'organisation des secours. Dès qu'une catastrophe se produit, la Charte est activée. L'opération consiste à programmer l'acquisition d'images de la zone concernée à partir de tous les satellites en orbite disponibles, de traiter en urgence les images pour fournir des informations facilement interprétables et de générer des cartes de référence (situation avant la catastrophe) et de crise. La cartographie détaillée des dégâts dans les heures et les jours qui suivent l'événement ainsi que l'identification des regroupements de survivants fournissent des informations cruciales pour l'organisation rapide et efficace des secours sur le terrain.

L'acquisition d'images dans différents domaines de longueur d'onde (principalement dans le visible et l'infrarouge), à des étapes clés de la croissance des cultures agricoles, fournit des informations sur divers paramètres biophysiques qui caractérisent l'état de santé des plantes : la surface des feuilles, leur teneur en chlorophylle, leur niveau de stress hydrique, d'éventuelles anomalies de croissance, etc. On peut ainsi détecter précocement si les plantes manquent d'eau ou d'azote et y remédier en irriguant les cultures ou en apportant des engrais juste là où il faut.

Prévoir l'état de l'océan

En France, le projet Farmstar, développé par la société Astrium avec d'autres partenaires, fournit depuis quelques années un service d'agriculture de précision utilisant l'imagerie optique de satellites français d'observation de la Terre Spot et le système de positionnement précis GPS. Ce service dédié à la culture des céréales est utilisé en 2013 par près de 15 000 agriculteurs (voir *Le Figaro* du 18 octobre 2011). Connaître la récolte potentielle au plus tôt dans la saison est essentiel non seulement pour l'agriculteur mais aussi pour tout pays cherchant à satisfaire ses besoins alimentaires et ses capacités d'exportation. Le projet international Geoglam (GEO Global Agricultural Monitoring), créé en 2011 à la suite du G20 des ministres de l'Agriculture, vise à fournir de façon opérationnelle, à partir de l'observation spatiale, des prédictions de récolte à l'échelle nationale et mondiale. Parmi ses objectifs : le suivi de l'état des cultures à grande échelle, l'amélioration et l'optimisation des rendements agricoles et, de façon ultime, une meilleure plani-

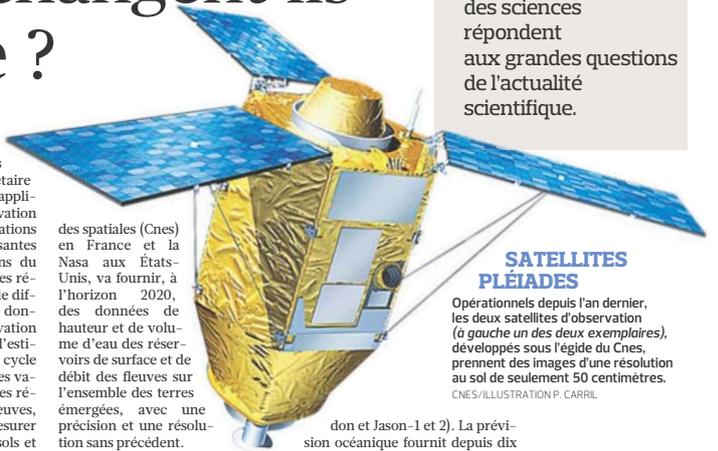
CATASTROPHE

Sur cette image prise par les satellites Pléiades, on voit nettement la trace de la tornade qui a dévasté la ville de Moore (États-Unis), le 27 mai dernier.

CNES

fication de la production agricole mondiale.

La gestion des ressources en eau à l'échelle planétaire compte également parmi les applications récentes de l'observation spatiale. Alors que les informations sur l'eau sont très insuffisantes dans de nombreuses régions du monde en raison du déclin des réseaux de mesures in situ ou de difficultés d'accès à certaines données sur l'eau, l'observation spatiale permet aujourd'hui d'estimer plusieurs paramètres du cycle de l'eau : les précipitations, les variations des volumes d'eau des réservoirs de surface (lacs, fleuves, réservoirs artificiels), de mesurer l'humidité superficielle des sols et de « voir » le pompage de l'eau dans les nappes phréatiques dans les régions où cette ressource est particulièrement sollicitée pour l'irrigation agricole. Ces informations - ignorant les frontières entre États - ont de multiples applications : en tout premier lieu, la gestion de l'eau dans les bassins versants pour l'irrigation des cultures, la consommation domestique et l'industrie ainsi que la navigation fluviale, la prévision météo, la prévision des inondations. Une nouvelle mission spatiale appelée Swot (Surface Waters and Ocean Topography), en cours de développement par le Centre national d'étu-



SATELLITES PLÉIADES

Opérationnels depuis l'an dernier, les deux satellites d'observation (à gauche un des deux exemplaires), développés sous l'égide du Cnes, prennent des images d'une résolution au sol de seulement 50 centimètres.

CNES/ILLUSTRATION P. CARRIL

des spatiales (Cnes) en France et la Nasa aux États-Unis, va fournir, à l'horizon 2020, des données de hauteur et de volume d'eau des réservoirs de surface et de débit des fleuves sur l'ensemble des terres émergées, avec une précision et une résolution sans précédent.

Les océans sont eux aussi surveillés en routine par de nombreux satellites qui mesurent la température et la salinité de surface de la mer, les courants, les vagues, l'élévation du niveau de la mer, et même l'activité biologique des eaux superficielles. Avec des retombées très pratiques : les océanographes sont aujourd'hui capables de prévoir l'état de l'océan une à deux semaines à l'avance en combinant la modélisation numérique avec des observations réalisées par des flotteurs automatiques (système Argo) et des satellites (par exemple les satellites altimétriques franco-américains Topex/Posei-

don et Jason-1 et 2). La prévision océanique fournit depuis dix ans des bulletins « océaniques » en temps réel et des prévisions sur l'état de l'océan dans ses trois dimensions. Un nombre grandissant d'utilisateurs peuvent accéder à ces bulletins, comme la Marine nationale, les navigateurs, les pêcheurs et même les plaisanciers. Au plan européen, une grande partie de ces applications est fédérée au sein du projet GMES (Global Monitoring for Environment and Security), à présent nommé Copernicus. ■

* Situés dans le plan de l'équateur à 36 000 km d'altitude, ces satellites tournent autour de la Terre en 24 heures.

QUATRE PRINCIPALES MISSIONS

PRÈS DE 3 000 SATELLITES SONT ACTUELLEMENT EN ORBITE AUTOUR DE LA TERRE.

Observer

Comprendre l'évolution du climat, mesurer l'épaisseur des glaces, surveiller les récoltes, évaluer les réserves en eau, mesurer la hauteur du niveau des mers, photographier les zones victimes de catastrophes naturelles... Les satellites d'observation sont une mine de renseignements pour les scientifiques mais aussi pour les décideurs civils et militaires.

Communiquer

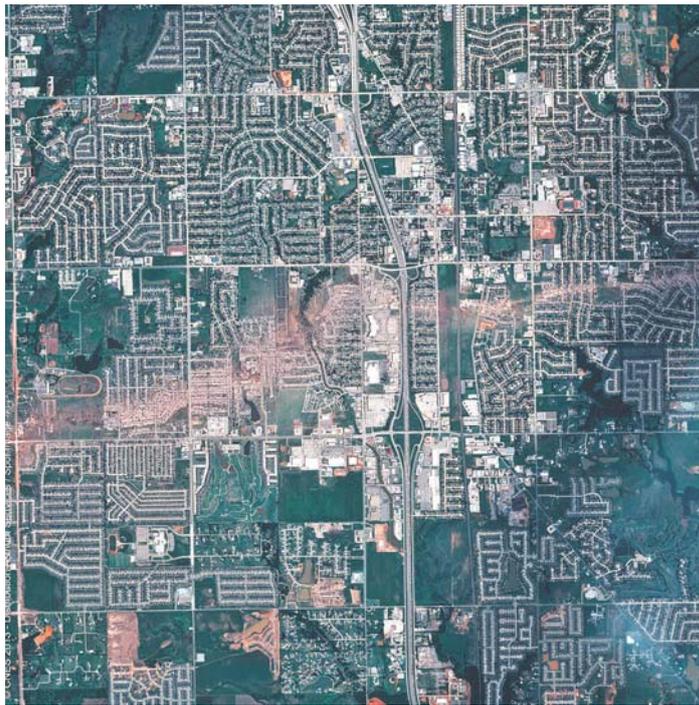
Télévision, Internet, téléphonie, transmissions de données à très haut débit... Les antennes des satellites de télécommunications, des monstres de plusieurs tonnes placés en orbite géostationnaire, permettent d'échanger des masses considérables d'informations sur de vastes zones du globe.

Naviguer

Grâce aux satellites de positionnement et de navigation, comme le GPS américain, le Glonass russe et très prochainement le Galileo européen, chaque être humain détenteur d'un récepteur, le plus souvent intégré à son smartphone, peut se « géolocaliser » au mètre près. Les applications sont innombrables, que ce soit dans l'aéronautique, le BTP, l'agriculture et même la gestion des transactions bancaires.

Prévoir

En trente ans, les satellites ont révolutionné la météorologie. Les données qu'ils transmettent depuis l'orbite géostationnaire (Météosat) ou polaire (Metop) ont grandement amélioré la fiabilité des prévisions et la compréhension des phénomènes physiques à l'œuvre dans l'atmosphère terrestre.



La révolution du positionnement et de la navigation par satellite



CLAUDE BOUCHER
Géodésien,
Bureau des longitudes,
Paris

LES SYSTÈMES de navigation par satellite sont apparus dès les débuts de l'ère spatiale. C'est l'observation du signal radio émis par le satellite Spoutnik 1, en 1957, qui permit aux États-Unis de concevoir et de réaliser le premier système pour la Marine américaine, notamment les sous-marins Polaris. La navigation en mer connu ainsi dans les années 1970 une véritable révolution technologique : la possibilité de se positionner à une dizaine de mètres près dans une référence géogra-

phique globale, à tout instant et par tout temps. Soit un gain d'un facteur 10 par rapport au point astronomique.

À la même époque, le Centre national d'études spatiales (Cnes) développa des systèmes inversés (balises émettrices au sol et récepteurs embarqués sur satellite). Ce fut notamment le système Argos, connu pour le suivi des courses en mer et les déplacements d'animaux. Des systèmes actuellement dédiés au sauvetage (tel Cospas-Sarsat) en sont les héritiers, tout comme le système français d'orbitographie et de positionnement Doris, placé à bord de nombreux satellites.

Le succès des premiers systèmes de navigation, allié aux innovations technologiques dans le domaine des horloges atomiques, contribua fortement au développement d'un

système ambitieux permettant de fournir instantanément position et heure à tout point de la surface terrestre et de son environnement, fixe ou mobile. C'est le système GPS américain, à usage militaire et civil, dont les domaines d'utilisation ne cessent de s'étendre. Une conséquence notable de ce succès fut le développement de projets similaires en Russie avec Glonass, en Europe avec Galileo, et en Chine avec Beidou. La similarité de leurs services permet d'ailleurs de les utiliser simultanément avec un même récepteur, renforçant ainsi leurs performances, avec une gamme de précision allant du mètre au millimètre.

Le grand public connaît désormais ces systèmes largement utilisés dans la vie quotidienne. Citons par exemple l'aide à la navigation

automobile et la géolocalisation individuelle au mètre près (souvent en combinaison avec un téléphone portable), le suivi des personnes dépendantes ou des condamnés, des matières dangereuses ou des containers, la gestion des flottes de véhicules, le contrôle de la vigilance au volant ou la localisation des accidents (en identifiant la voie d'autoroute pour l'envoi des secours).

D'autres applications concernent le domaine maritime et fluvial : la prévention des collisions, la détection des navires pirates (par exemple la pêche frauduleuse), la gestion des pêches ; le domaine du génie civil (avec un positionnement centimétrique) ; les travaux topographiques, la construction et la surveillance d'ouvrages d'art, comme le viaduc de Millau, ou le

guidage automatique d'engins de chantier (revêtement d'autoroutes). Dans le domaine du transport aérien, le positionnement par satellite est progressivement homologué pour toutes les phases du vol grâce au contrôle d'intégrité permis notamment par Galileo.

Enfin, dans le domaine scientifique, qui nécessite le niveau de précision ultime de ces systèmes, les applications vont de la détermination des déformations tectoniques, volcaniques ou sismiques à la réalisation d'un repère de référence géodésique mondial de précision millimétrique. N'oublions pas pour finir une autre fonction importante des systèmes de positionnement : la dissémination du temps, cruciale notamment pour le fonctionnement d'Internet ou les transactions bancaires. ■